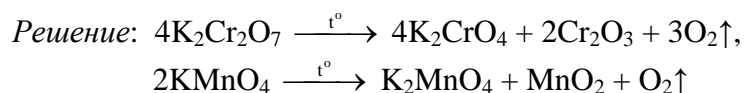
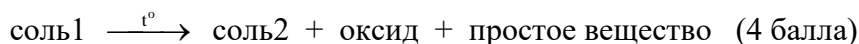


Олимпиада школьников «Ломоносов» по химии
Очный тур
11 класс

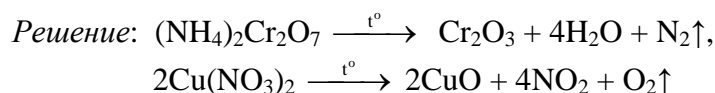
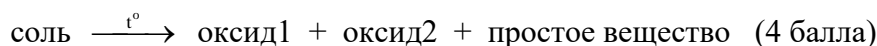
Задание 1

1. Запишите уравнение реакции, соответствующее следующей схеме:



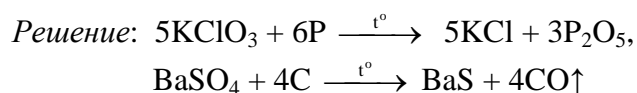
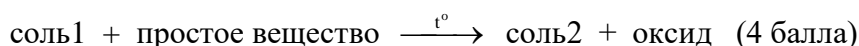
Критерии оценивания: 4 балла за правильно записанную, соответствующую условиям реакцию.

2. Запишите уравнение реакции, соответствующее следующей схеме:



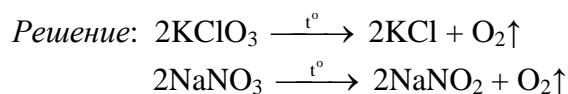
Критерии оценивания: 4 балла за правильно записанную, соответствующую условиям реакцию.

3. Запишите уравнение реакции, соответствующее следующей схеме:



Критерии оценивания: 4 балла за правильно записанную, соответствующую условиям реакцию.

4. Запишите уравнение реакции, соответствующее следующей схеме:

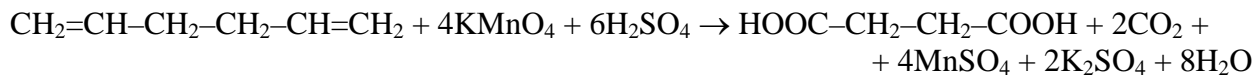


Критерии оценивания: 4 балла за правильно записанную, соответствующую условиям реакцию.

Задание 2

1. Изобразите структурную формулу изомера циклогексена, из которого в одну стадию можно получить бутандиовую (янтарную) кислоту. Напишите уравнение реакции. (6 баллов)

Решение. Циклоалкены изомерны алкинам и алкадиенам. Изомер циклогексена C_6H_{10} , из которого можно получить в одну стадию бутандиовую кислоту – это гексадиен-1,5:

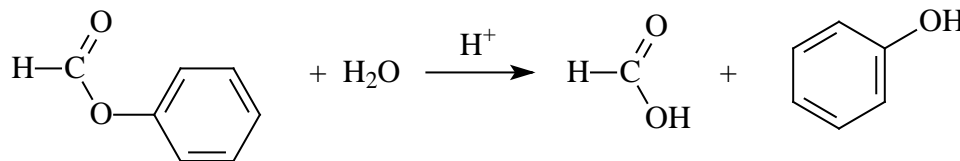


Критерии оценивания: 2 балла за правильно выбранное вещество (подходящий изомер циклогексена), 4 балла за правильно записанную реакцию с его участием.

Всего 6 баллов

2. Изобразите структурную формулу изомера бензойной кислоты, из которого в одну стадию можно получить фенол. Напишите уравнение реакции. (6 баллов)

Решение. Карбоновые кислоты изомерны сложным эфирам. Изомер бензойной кислоты $C_7H_6O_2$, из которого можно получить в одну стадию фенол – это фениловый эфир муравьиной кислоты (фенилформиат):

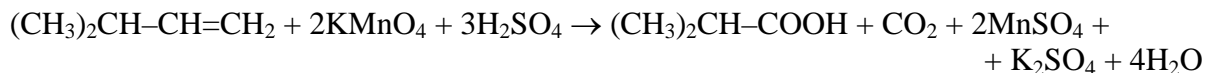


Критерии оценивания: 2 балла за правильно выбранное вещество (подходящий изомер бензойной кислоты), 4 балла за правильно записанную реакцию с его участием.

Всего 6 баллов

3. Изобразите структурную формулу изомера циклопентана, из которого в одну стадию можно получить 2-метилпропановую кислоту. Напишите уравнение реакции. (6 баллов)

Решение. Циклоалканы изомерны алкенам. Изомер циклопентана C_5H_{10} , из которого можно получить в одну стадию 2-метилпропановую кислоту – это 3-метилбутен-1:

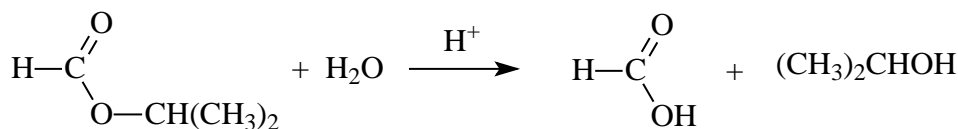


Критерии оценивания: 2 балла за правильно выбранное вещество (подходящий изомер циклопентана), 4 балла за правильно записанную реакцию с его участием.

Всего 6 баллов

4. Изобразите структурную формулу изомера масляной (бутановой) кислоты, из которого в одну стадию можно получить изопропиловый спирт (пропанол-2). Напишите уравнение реакции. (6 баллов)

Решение. Карбоновые кислоты изомерны сложным эфирам. Изомер бутановой кислоты $C_4H_8O_2$, из которого может быть получен в одну стадию пропанол-2 – это изопропиловый эфир муравьиной кислоты (изопропилформиат):



Критерии оценивания: 2 балла за правильно выбранное вещество (подходящий изомер бутановой кислоты), **4 балла** за правильно записанную реакцию с его участием.

Всего 6 баллов

Задание 3

1. В 44.26%-ном водном растворе одноосновной неорганической кислоты число атомов водорода в 2.176 раза превышает число атомов кислорода. Определите неизвестную кислоту. (10 баллов)

Решение. Соотношение между числами атомов водорода и кислорода в водном растворе неизвестной кислоты больше, чем в чистой воде:

$$2.176 > 2$$

Это возможно, если в кислоте число атомов водорода превышает число атомов кислорода более чем в два раза (таких неорганических кислот нет), или же если кислота – бескислородная.

Рассмотрим 1 моль раствора:

$$v(\text{HA}) = x \text{ моль}, v(\text{H}_2\text{O}) = 1 - x \text{ моль}.$$

$$\frac{v(\text{H})}{v(\text{O})} = \frac{x + 2(1 - x)}{1 - x} = \frac{2 - x}{1 - x} = 2.176$$

Отсюда $x = 0.15$ моль, $1 - x = 0.85$ моль.

Выразим массовую долю кислоты (M – молярная масса кислоты):

$$\omega(\text{HA}) = \frac{m(\text{HA})}{m(\text{HA}) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0.15M}{0.15M + 0.85 \cdot 18} = 0.4426,$$

$$0.08361M = 6.7718,$$

$$M = 81 \text{ (г/моль)}.$$

По молярной массе определяем, что кислота – бромоводородная HBr .

Ответ: HBr .

Критерии оценивания: 2 балла за вывод о том, что кислота – бескислородная, **4 балла** за правильно определенную мольную долю кислоты в растворе, **4 балла** за правильную молярную массу кислоты.

Всего 10 баллов.

2. В 10.0%-ном водном растворе одноосновной неорганической кислоты число атомов водорода в 2.074 раза превышает число атомов кислорода. Определите неизвестную кислоту. (10 баллов)

Решение. Соотношение между числами атомов водорода и кислорода в водном растворе неизвестной кислоты больше, чем в чистой воде:

$$2.074 > 2$$

Это возможно, если в кислоте число атомов водорода превышает число атомов кислорода более чем в два раза (таких неорганических кислот нет), или же если кислота – бескислородная.

Рассмотрим 1 моль раствора:

$$v(\text{HA}) = x \text{ моль}, v(\text{H}_2\text{O}) = 1 - x \text{ моль}.$$

$$\frac{\nu(\text{H})}{\nu(\text{O})} = \frac{x + 2(1-x)}{1-x} = \frac{2-x}{1-x} = 2.074$$

Отсюда $x = 0.069$ моль, $1 - x = 0.931$ моль.

Выразим массовую долю кислоты (M – молярная масса кислоты):

$$\omega(\text{HA}) = \frac{m(\text{HA})}{m(\text{HA}) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0.069M}{0.069M + 0.931 \cdot 18} = 0.10,$$

$$0.0621M = 1.6758,$$

$$M = 26.99 \sim 27 \text{ (г/моль)}.$$

По молярной массе определяем, что кислота – синильная HCN.

Ответ: HCN.

Критерии оценивания: 2 балла за вывод о том, что кислота – бескислородная, 4 балла за правильно определенную мольную долю кислоты в растворе, 4 балла за правильную молярную массу кислоты.

Всего 10 баллов.

3. В 21.74%-ном водном растворе одноосновной неорганической кислоты число атомов водорода в 2.250 раза превышает число атомов кислорода. Определите неизвестную кислоту. (10 баллов)

Решение. Соотношение между числами атомов водорода и кислорода в водном растворе неизвестной кислоты больше, чем в чистой воде:

$$2.250 > 2$$

Это возможно, если в кислоте число атомов водорода превышает число атомов кислорода более чем в два раза (таких неорганических кислот нет), или же если кислота – бескислородная.

Рассмотрим 1 моль раствора:

$$\nu(\text{HA}) = x \text{ моль}, \nu(\text{H}_2\text{O}) = 1 - x \text{ моль}.$$

$$\frac{\nu(\text{H})}{\nu(\text{O})} = \frac{x + 2(1-x)}{1-x} = \frac{2-x}{1-x} = 2.250$$

Отсюда $x = 0.2$ моль, $1 - x = 0.8$ моль.

Выразим массовую долю кислоты (M – молярная масса кислоты):

$$\omega(\text{HA}) = \frac{m(\text{HA})}{m(\text{HA}) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0.2M}{0.2M + 0.8 \cdot 18} = 0.2174,$$

$$0.1565M = 3.1306,$$

$$M = 20 \text{ (г/моль)}.$$

По молярной массе определяем, что кислота – плавиковая HF.

Ответ: HF.

Критерии оценивания: 2 балла за вывод о том, что кислота – бескислородная, 4 балла за правильно определенную мольную долю кислоты в растворе, 4 балла за правильную молярную массу кислоты.

Всего 10 баллов.

3.4. В 32.26%-ном водном растворе одноосновной неорганической кислоты число атомов водорода в 2.430 раза превышает число атомов кислорода. Определите неизвестную кислоту. (10 баллов)

Решение. Соотношение между числами атомов водорода и кислорода в водном растворе неизвестной кислоты больше, чем в чистой воде:

$$2.430 > 2$$

Это возможно, если в кислоте число атомов водорода превышает число атомов кислорода более чем в два раза (таких неорганических кислот нет), или же если кислота – бескислородная.

Рассмотрим 1 моль раствора:

$$\begin{aligned}v(\text{HA}) &= x \text{ моль}, v(\text{H}_2\text{O}) = 1 - x \text{ моль.} \\ \frac{v(\text{H})}{v(\text{O})} &= \frac{x + 2(1-x)}{1-x} = \frac{2-x}{1-x} = 2.430\end{aligned}$$

Отсюда $x = 0.3$ моль, $1 - x = 0.7$ моль.

Выразим массовую долю кислоты (M – молярная масса кислоты):

$$\begin{aligned}\omega(\text{HA}) &= \frac{m(\text{HA})}{m(\text{HA}) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0.3M}{0.3M + 0.7 \cdot 18} = 0.3326, \\ 0.2032M &= 4.0648, \\ M &= 20 \text{ (г/моль)}.\end{aligned}$$

По молярной массе определяем, что кислота – плавиковая HF.

Ответ: HF.

Критерии оценивания: 2 балла за вывод о том, что кислота – бескислородная, **4 балла** за правильно определенную мольную долю кислоты в растворе, **4 балла** за правильную молярную массу кислоты.

Всего 10 баллов.

Задание 4

1. Перекристаллизация – известный метод очистки веществ от растворимых примесей. Растворимость безводного сульфата меди(II) при 80°C составляет 55.0 г, а при 0°C – 14.3 г на 100 г воды. В каком объеме воды нужно растворить 50.0 г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ для приготовления насыщенного при 80°C раствора? Сколько граммов перекристаллизованного кристаллогидрата можно получить при охлаждении этого раствора до 0°C ? (10 баллов)

Решение. Найдем количество вещества кристаллогидрата:

$$M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 160 + 5 \cdot 18 = 250 \text{ г/моль},$$

$$v(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 50.0 / 250 = 0.2 \text{ моль}.$$

Значит, в насыщенном при 80°C растворе, приготовленном из указанной навески кристаллогидрата, должно содержаться сульфата меди(II)

$$m(\text{CuSO}_4) = 160 \cdot 0.2 = 32 \text{ г}.$$

При 80°C в насыщенном растворе массовая доля безводной соли составляет

$$\omega(\text{CuSO}_4) = 55.0 / 155.0 = 0.3548.$$

Пусть m – масса воды, которую необходимо добавить. Тогда

$$0.3548 = 32 / (50.0 + m),$$

$$m = 40.2 \text{ г},$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 40.2 \text{ мл}.$$

Масса полученного насыщенного раствора составит

$$m(\text{р-ра}) = 50 + 40.2 = 90.2 \text{ г}.$$

При 0°C в насыщенном растворе массовая доля безводной соли составляет

$$\omega(\text{CuSO}_4) = 14.3 / 114.3 = 0.1251.$$

Пусть при охлаждении раствора выпадет x моль кристаллогидрата. Тогда

$$0.1251 = \frac{32 - 160x}{90.2 - 250x},$$

$$x = 0.16 \text{ моль}.$$

Масса осадка пентагидрата сульфата меди

$$m = 250 \cdot 0.16 = 40.0 \text{ г}.$$

Ответ: 40.2 мл воды, 40 г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Критерии оценивания: правильно определенный объем воды **5 баллов** (если в качестве ответа оставлена масса воды без комментариев – **минус 1 балл**), масса осадка кристаллогидрата – **5 баллов**. В том числе за рассчитанные массовые доли безводной соли в насыщенных растворах – по **1 баллу**.

Всего 10 баллов.

2. Перекристаллизация – известный метод очистки веществ от растворимых примесей. Растворимость безводного вольфрамата(VI) натрия при 90°C составляет 94.02 г, а при 10°C – 72.06 г на 100 г воды. В каком объеме воды нужно растворить 49.5 г $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ для приготовления насыщенного при 90°C раствора? Сколько граммов перекристаллизованного кристаллогидрата можно получить при охлаждении этого раствора до 10°C ? (10 баллов)

Решение. Найдем количество вещества кристаллогидрата:

$$M(\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 294 + 2 \cdot 18 = 330 \text{ г/моль.}$$

$$\nu(\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 49.5 / 330 = 0.15 \text{ моль.}$$

Значит, в насыщенном при 90°C растворе, приготовленном из указанной навески кристаллогидрата, должно содержаться вольфрамата натрия

$$m = 294 \cdot 0.15 = 44.1 \text{ г.}$$

При 90°C в насыщенном растворе массовая доля безводной соли составляет

$$\omega(\text{Na}_2\text{WO}_4) = 94.02 / 194.02 = 0.4846.$$

Пусть m – масса воды, которую необходимо добавить. Тогда

$$0.4846 = 44.1 / (49.5 + m),$$

$$m = 41.5 \text{ г,}$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 41.5 \text{ мл.}$$

Масса полученного насыщенного раствора составит

$$m(\text{р-ра}) = 49.5 + 41.5 = 91.0 \text{ г.}$$

При 10°C в насыщенном растворе массовая доля безводной соли составляет

$$\omega(\text{Na}_2\text{WO}_4) = 72.06 / 172.06 = 0.4188.$$

Пусть при охлаждении выпадет x моль кристаллогидрата. Тогда

$$0.4188 = \frac{44.1 - 294x}{91.0 - 330x},$$

$$x \approx 0.038 \text{ моль.}$$

Выпадет осадка дигидрата

$$m = 330 \cdot 0.038 \approx 12.5 \text{ г.}$$

Ответ: 41.5 мл воды, 12.5 г $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Критерии оценивания: правильно определенный объем воды **5 баллов** (если в качестве ответа оставлена масса воды без комментариев – **минус 1 балл**), масса осадка кристаллогидрата – **5 баллов**. В том числе за рассчитанные массовые доли безводной соли в насыщенных растворах – по **1 баллу**.

Всего 10 баллов.

3. Перекристаллизация – известный метод очистки веществ от растворимых примесей. Растворимость безводного хлорида меди(II) при 80°C составляет 96.1 г, а при 0°C – 68.6 г на 100 г воды. В каком объеме воды нужно растворить 51.3 г $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ для приготовления насыщенного при 80°C раствора? Сколько граммов перекристаллизованного кристаллогидрата можно получить при охлаждении этого раствора до 0°C ? (10 баллов)

Решение. Найдем количество вещества кристаллогидрата:

$$M(\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 135 + 2 \cdot 18 = 171 \text{ г/моль.}$$

$$\nu(\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 51.3 / 171 = 0.3 \text{ моль.}$$

В насыщенном при 80°C растворе, приготовленном из указанной навески кристаллогидрата, должно содержаться хлорида меди(II)

$$m(\text{CuCl}_2) = 135 \cdot 0.3 = 40.5 \text{ г.}$$

При 80°C в насыщенном растворе массовая доля безводной соли составляет

$$\omega(\text{CuCl}_2) = 96.1 / 196.1 = 0.4901.$$

Пусть m – масса воды, которую необходимо добавить. Тогда

$$0.4901 = 40.5 / (51.3 + m),$$

$$m = 31.3 \text{ г,}$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 31.3 \text{ мл.}$$

Масса полученного насыщенного раствора составит

$$m(\text{р-ра}) = 51.3 + 31.33 = 82.6 \text{ г.}$$

При 0°C в насыщенном растворе массовая доля безводной соли составляет

$$\omega(\text{CuCl}_2) = 68.6 / 168.6 = 0.4069.$$

Пусть при охлаждении выпадет x моль кристаллогидрата. Тогда

$$0.4069 = \frac{40.5 - 135x}{82.63 - 171x},$$

$$x \approx 0.1 \text{ моль.}$$

Выпадет осадка дигидрата

$$m = 171 \cdot 0.1 = 17.1 \text{ г.}$$

Ответ: 31.3 мл воды, 17.1 г $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Критерии оценивания: правильно определенный объем воды **5 баллов** (если в качестве ответа оставлена масса воды без комментариев – **минус 1 балл**), масса осадка кристаллогидрата – **5 баллов**. В том числе за рассчитанные массовые доли безводной соли в насыщенных растворах – по **1 баллу**.

Всего 10 баллов.

4. Перекристаллизация – известный метод очистки веществ от растворимых примесей. Растворимость безводного хлорида магния при 80°C составляет 66.0 г, а при 0°C – 52.8 г на 100 г воды. В каком объеме воды нужно растворить 81.2 г $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ для приготовления насыщенного при 80°C раствора? Сколько граммов перекристаллизованного кристаллогидрата можно получить при охлаждении этого раствора до 0°C? (10 баллов)

Решение. Найдем количество вещества кристаллогидрата:

$$M(\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 95 + 6 \cdot 18 = 203 \text{ г/моль.}$$

$$\nu(\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 81.2 / 203 = 0.4 \text{ моль.}$$

В насыщенном при 80°C растворе, приготовленном из указанной навески кристаллогидрата, должно содержаться хлорида магния

$$m(\text{MgCl}_2) = 95 \cdot 0.4 = 38 \text{ г.}$$

При 80°C в насыщенном растворе массовая доля безводной соли составляет

$$\omega(\text{MgCl}_2) = 66.0 / 166.0 = 0.3975.$$

Пусть m – масса воды, которую необходимо добавить. Тогда

$$0.3975 = 38 / (81.2 + m),$$

$$m = 14.4 \text{ г,}$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 14.4 \text{ мл.}$$

Масса полученного насыщенного раствора составит

$$m(\text{р-ра}) = 81.2 + 14.4 = 95.6 \text{ г.}$$

При 0°C массовая доля безводной соли в насыщенном растворе составляет

$$\omega(\text{MgCl}_2) = 52.8 / 152.8 = 0.3455.$$

Пусть при охлаждении выпадет x моль кристаллогидрата. Тогда

$$0.3455 = \frac{38 - 95x}{95.6 - 203x},$$

$$x \approx 0.2 \text{ моль.}$$

Выпадет осадка гексагидрата

$$m = 203 \cdot 0.20 = 40.6 \text{ г.}$$

Ответ: 14.4 мл воды, 40.6 г $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

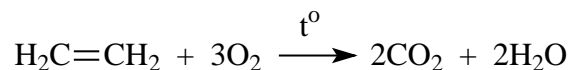
Критерии оценивания: правильно определенный объем воды **5 баллов** (если в качестве ответа оставлена масса воды без комментариев – **минус 1 балл**), масса осадка кристаллогидрата – **5 баллов**. В том числе за рассчитанные массовые доли безводной соли в насыщенных растворах – по **1 баллу**.

Всего 10 баллов.

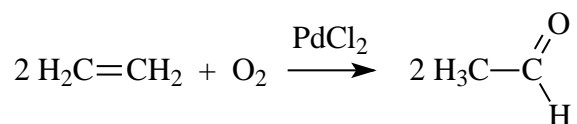
Задание 5

1. Соединения **A** и **B** одинаковой молекулярной массы могут быть получены взаимодействием этилена с кислородом. В результате реакции **A** и **B** с метилмагниййодидом (реактив Гриньяра) после обработки смеси водой образуются соединения **C** и **D** также одинаковой молекулярной массы. Нагревание **C** и **D** до 200°C с концентрированной серной кислотой приводит к образованию соединения **E**. Установите строение всех соединений, напишите уравнения протекающих реакций. (15 баллов)

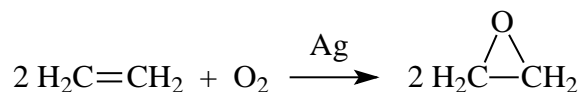
Решение. Этилен вступает в реакции с кислородом, давая различные продукты в зависимости от условий проведения процесса. Например, при сжигании этилена образуется углекислый газ:



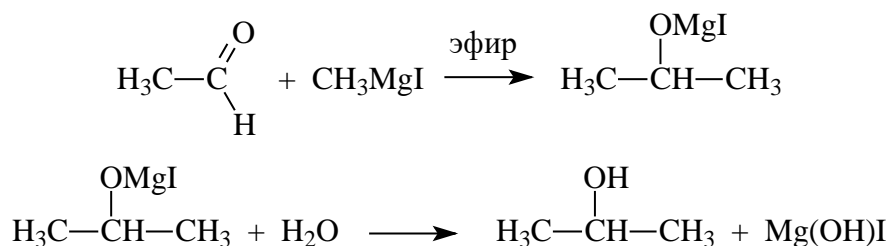
Вакер-процесс (окисление кислородом в присутствии хлорида палладия и хлорида меди) позволяет получать уксусный альдегид:

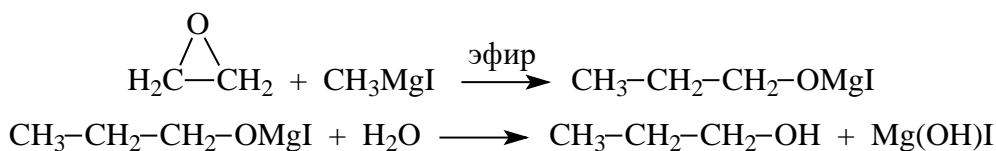


Окисление этилена кислородом на серебре приводит к этиленоксиду:

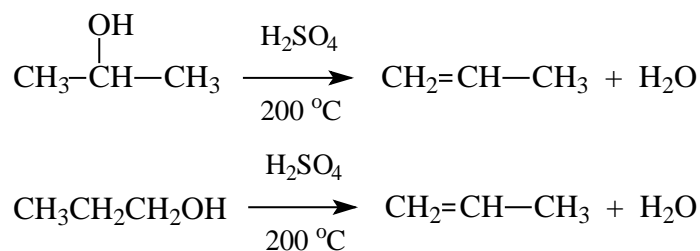


Продукты всех трех реакций (углекислый газ, этаналь и этиленоксид) имеют одинаковую молярную массу 44 г/моль. Все три соединения могут реагировать с метилмагниййодидом, но только из уксусного альдегида и этиленоксида образуются изомерные спирты:





которые при нагревании с серной кислотой дегидратируются в пропен:



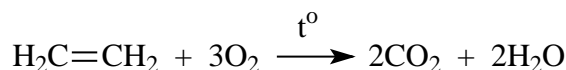
Ответ: **A** – этаналь, **B** – этиленоксид, **C** – пропанол-2, **D** – пропанол-1, **E** – пропен.

Критерии оценивания: 2 реакции образования веществ **A** и **B**, 2 реакции присоединения реактива Гриньяра, 2 реакции дегидратации спиртов **C** и **D** – по **2 балла** за реакцию, всего $6 \times 2 = 12$ баллов. 2 реакции гидролиза (получение **C** и **D**) по **1.5 балла**, всего **3 балла**.

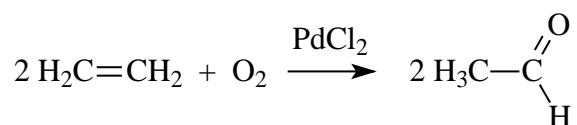
Всего за задание 15 баллов.

2. Соединения **A** и **B** одинаковой молекулярной массы могут быть получены взаимодействием этилена с кислородом. В результате реакции **A** и **B** с этилмагнийбромидом (реактив Гриньяра) после обработки смеси водой образуются соединения **C** и **D** также одинаковой молекулярной массы. Эти соединения обесцвечивают подкисленный раствор перманганата калия. Установите строение всех соединений, напишите уравнения протекающих реакций. (15 баллов)

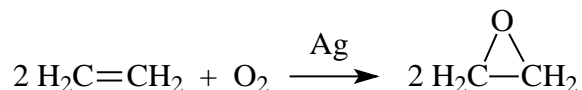
Решение. Этилен вступает в реакции с кислородом, давая различные продукты в зависимости от условий проведения процесса. Например, при сжигании этилена образуется углекислый газ:



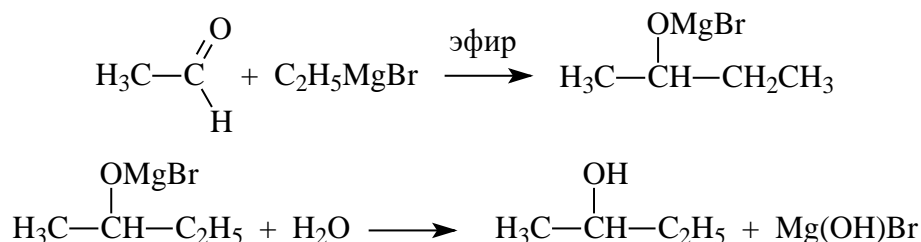
Вакер-процесс (окисление кислородом в присутствии хлорида палладия и хлорида меди) позволяет получать уксусный альдегид:

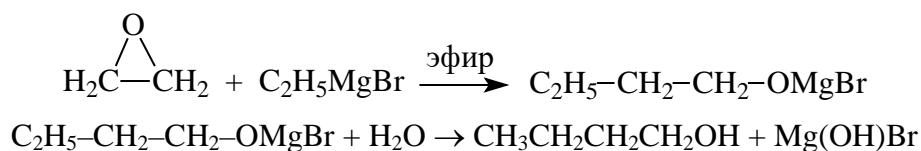


Окисление этилена кислородом на серебре приводит к этиленоксиду:

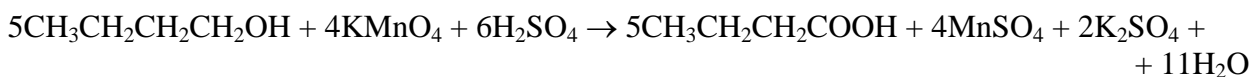
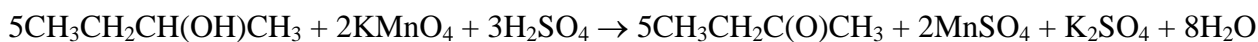


Продукты всех трех реакций (углекислый газ, этаналь и этиленоксид) имеют одинаковую молярную массу 44 г/моль. Все три соединения вступают в реакцию с этилмагнийбромидом, но только спирты могут окисляться перманганатом калия:





Обесцвечивание подкисленного раствора перманганата:



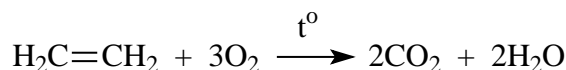
Ответ: **A** – этаналь, **B** – этиленоксид, **C** – бутанол-2, **D** – бутанол-1.

Критерии оценивания: 2 реакции образования веществ **A** и **B**, 2 реакции присоединения реактива Гриньяра, 2 реакции окисления спиртов **C** и **D** – по **2 балла** за реакцию, всего $6 \times 2 = 12$ баллов. 2 реакции гидролиза (получение **C** и **D**) по **1.5 балла**, всего **3 балла**.

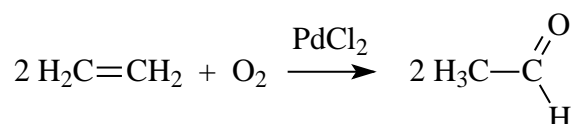
Всего за задание 15 баллов.

3. Соединения **A** и **B** одинаковой молекулярной массы могут быть получены взаимодействием этилена с кислородом. В результате реакции **A** и **B** с этилмагнийбромидом (реактив Гриньяра) после обработки смеси водой образуются соединения **C** и **D** также одинаковой молекулярной массы. При нагревании смеси **C** и **D** до 200°C с концентрированной серной кислотой образуются два изомерных алкена. Установите строение всех соединений, напишите уравнения протекающих реакций. (15 баллов)

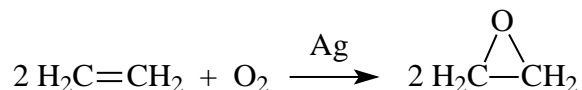
Решение. Этилен вступает в реакции с кислородом, давая различные продукты в зависимости от условий проведения процесса. Например, при сжигании этилена образуется углекислый газ:



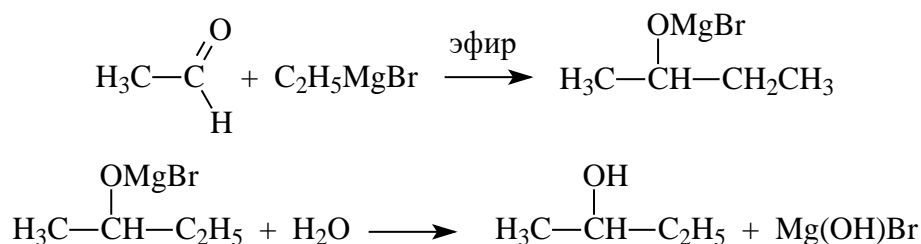
Вакер-процесс (окисление кислородом в присутствии хлорида палладия и хлорида меди) позволяет получать уксусный альдегид:

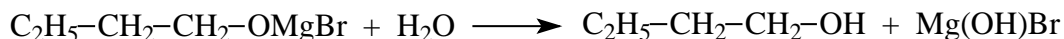
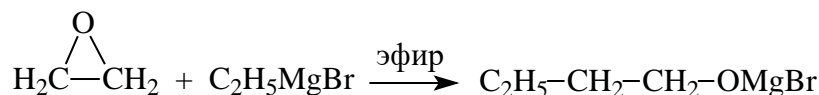


Окисление этилена кислородом на серебре приводит к этиленоксиду:

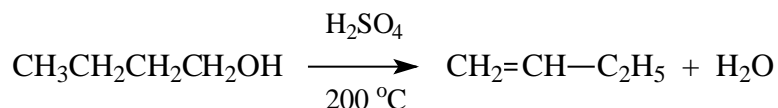
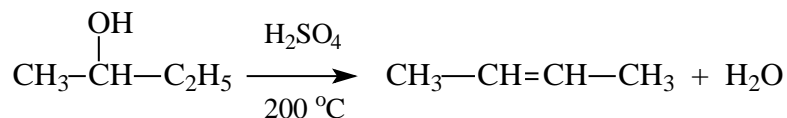


Продукты всех трех реакций (углекислый газ, этаналь и этиленоксид) имеют одинаковую молярную массу 44 г/моль. Все три соединения могут реагировать с этилмагнийбромидом, но только из уксусного альдегида и этиленоксида образуются изомерные спирты:





При нагревании смеси спиртов **C** и **D** до 200°C с концентрированной серной кислотой образуются два изомерных бутена:



Ответ: **A** – этаналь, **B** – этиленоксид, **C** – бутанол-2, **D** – бутанол-1.

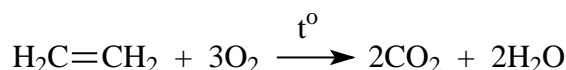
Критерии оценивания: 2 реакции образования веществ **A** и **B**, 2 реакции присоединения реактива Гриньяра, 2 реакции дегидратации спиртов **C** и **D** – по **2 балла** за реакцию, всего $6 \times 2 = 12$ баллов. 2 реакции гидролиза (получение **C** и **D**) по **1.5 балла**, всего **3 балла**.

Всего за задание 15 баллов.

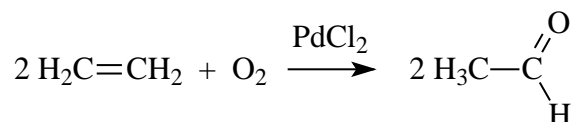
4. Соединения **A** и **B** одинаковой молекулярной массы могут быть получены взаимодействием этилена с кислородом. В результате реакции **A** и **B** с пропилмагнийбромидом (реактив Гриньяра) после обработки смеси водой образуются соединения **C** и **D** также одинаковой молекулярной массы. Соединение **C** обесцвечивает подкисленный раствор перманганата калия, давая вещество **E**, вступающее в реакцию серебряного зеркала. Соединение **D** не реагирует с подкисленным раствором перманганата калия. Установите строение всех соединений, напишите уравнения протекающих реакций.

(15 баллов)

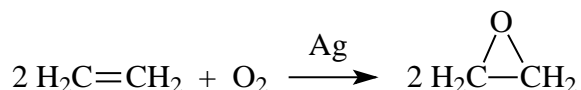
Решение. Этилен вступает в реакции с кислородом, давая различные продукты в зависимости от условий проведения процесса. Например, при сжигании этилена образуется углекислый газ:



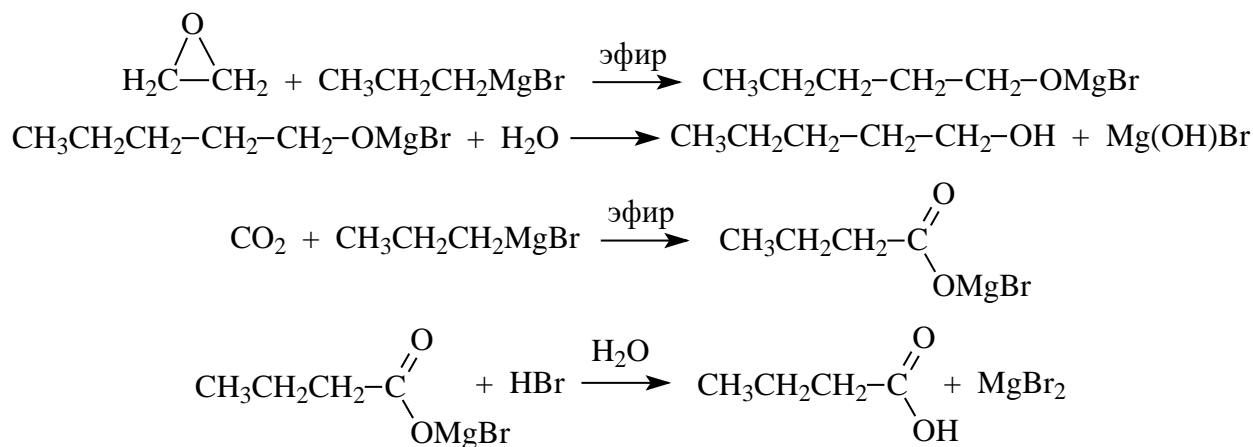
Вакер-процесс (окисление кислородом в присутствии хлорида палладия и хлорида меди) позволяет получать уксусный альдегид:



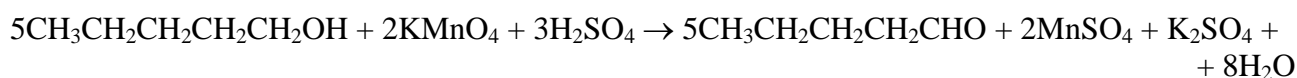
Окисление этилена кислородом на серебре приводит к этиленоксиду:



Продукты всех трех реакций (углекислый газ, этаналь и этиленоксид) имеют одинаковую молярную массу 44 г/моль. Все три соединения могут реагировать с пропилмагнийбромидом, однако условиям задачи удовлетворяют этиленоксид и углекислый газ:



Пентанол-1 $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$ и бутановая кислота $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ имеют одинаковую молярную массу 88 г/моль. При окислении первичного спирта образуется альдегид, который можно выделить из реакционной смеси (дальнейшее окисление альдегида ведет к образованию кислоты):



Альдегид вступает в реакцию серебряного зеркала:



Бутановая кислота, образуемая из углекислого газа, перманганатом не окисляется.

Ответ: **A** – этиленоксид, **B** – углекислый газ, **C** – пентанол-1, **D** – бутановая кислота, **E** – пентаналь.

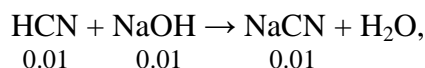
Критерии оценивания: 2 реакции образования веществ A и B, 2 реакции присоединения реактива Гриньяра, реакция окисления спирта C и реакция серебряного зеркала – по **2 балла** за реакцию, всего $6 \times 2 = 12$ баллов. 2 реакции гидролиза (получение C и D) по **1.5 балла**, всего **3 балла**.

Всего за задание 15 баллов.

Задание 6

1. Определите pH раствора, который образуется при смешении 150 мл 0.4 М раствора синильной кислоты и 100 мл 0.1 М раствора гидроксида натрия. Константа диссоциации HCN равна $5 \cdot 10^{-10}$. Примите, что при смешении объемы растворов суммируются. (15 баллов)

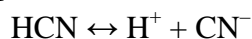
Решение. Рассчитаем количества синильной кислоты и щелочи. В 150 мл раствора кислоты содержится $0.15 \cdot 0.4 = 0.06$ моль HCN, в 100 мл щелочи содержится $0.1 \cdot 0.1 = 0.01$ моль NaOH (щелочь – в недостатке). При смешении растворов происходит реакция нейтрализации:



и остается избыток кислоты в количестве $(0.06 - 0.01) = 0.05$ моль. В полученном растворе объемом $0.15 + 0.1 = 0.25$ л содержатся кислота и соль в концентрациях

$$\begin{array}{l} c(\text{HCN}) = 0.05 / 0.25 = 0.2 \text{ моль/л}, \\ c(\text{NaCN}) = 0.01 / 0.25 = 0.04 \text{ моль/л}. \end{array}$$

Кислота частично диссоциирует



$$K_{\text{дисс.}} = [\text{H}^+][\text{CN}^-] / [\text{HCN}] = [\text{H}^+]([\text{H}^+] + c(\text{NaCN})) / (c(\text{HCN}) - [\text{H}^+])$$

Поскольку синильная кислота – очень слабая, можно упростить выражение для константы диссоциации:

$$K_{\text{дисс.}} = [\text{H}^+] \cdot c(\text{NaCN}) / c(\text{HCN}) = [\text{H}^+] \cdot 0.04 / 0.2 = 0.2[\text{H}^+] = 5 \cdot 10^{-10}.$$

Отсюда получаем

$$[\text{H}^+] = 2.5 \cdot 10^{-9},$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = 8.60.$$

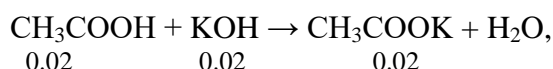
Ответ: 8.60.

Критерии оценивания: расчет количеств кислоты и щелочи до реакции – **2 балла**, расчет молярных концентраций веществ после реакции нейтрализации – **4 балла**, запись выражения для константы диссоциации – **2 балла**, нахождение концентрации H^+ – **4 балла**, расчет pH – **3 балла**.

Всего 15 баллов

2. Определите pH раствора, который образуется при смешении 250 мл 0.2 М раствора уксусной кислоты и 50 мл 0.4 М раствора гидроксида калия. Константа диссоциации кислоты равна $1.74 \cdot 10^{-5}$. Примите, что при смешении объемы растворов суммируются. (15 баллов)

Решение. Рассчитаем количества уксусной кислоты и щелочи. В 250 мл раствора кислоты содержится $0.25 \cdot 0.2 = 0.05$ моль CH_3COOH , в 50 мл щелочи содержится $0.05 \cdot 0.4 = 0.02$ моль KOH (щелочь – в недостатке). При смешении растворов происходит реакция нейтрализации:

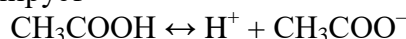


и остается избыток кислоты в количестве $(0.05 - 0.02) = 0.03$ моль. В полученном растворе объемом $0.25 + 0.05 = 0.30$ л содержатся кислота и соль в концентрациях

$$c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0.03 / 0.3 = 0.1 \text{ моль/л},$$

$$c(\text{CH}_3\text{COOK}) = 0.02 / 0.3 = 0.067 \text{ моль/л}.$$

Кислота частично диссоциирует



$$K_{\text{дисс.}} = [\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-] / [\text{CH}_3\text{COOH}] = [\text{H}^+]([\text{H}^+] + c(\text{CH}_3\text{COOK})) / (c(\text{CH}_3\text{COOH}) - [\text{H}^+])$$

Поскольку уксусная кислота – достаточно слабая, можно упростить выражение для константы диссоциации:

$$K_{\text{дисс.}} = [\text{H}^+] \cdot c(\text{CH}_3\text{COOK}) / c(\text{CH}_3\text{COOH}) = [\text{H}^+] \cdot 0.067 / 0.1 = 0.67[\text{H}^+] = 1.74 \cdot 10^{-5}.$$

Отсюда получаем

$$[\text{H}^+] = 2.60 \cdot 10^{-5},$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = 4.58.$$

Ответ: 4.58.

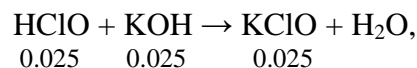
Критерии оценивания: расчет количеств кислоты и щелочи до реакции – **2 балла**, расчет молярных концентраций веществ после реакции нейтрализации – **4 балла**, запись выражения для константы диссоциации – **2 балла**, нахождение концентрации H^+ – **4 балла**, расчет pH – **3 балла**.

Всего 15 баллов

3. Определите pH раствора, который образуется при смешении 150 мл 0.2 М раствора хлорноватистой кислоты и 250 мл 0.1 М раствора гидроксида калия. Константа диссоциации HClO равна $2.95 \cdot 10^{-8}$. Примите, что при смешении объемы растворов суммируются. (15 баллов)

Решение. Рассчитаем количества хлорноватистой кислоты и щелочи. В 150 мл раствора кислоты содержится $0.15 \cdot 0.2 = 0.03$ моль HClO , в 250 мл щелочи содержится

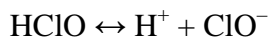
$0.25 \cdot 0.1 = 0.025$ моль КОН (щелочь – в недостатке). При смешении растворов происходит реакция нейтрализации:



и остается избыток кислоты в количестве $(0.03 - 0.025) = 0.005$ моль. В полученном растворе объемом $0.15 + 0.25 = 0.4$ л содержатся кислота и соль в концентрациях

$$\begin{aligned} c(\text{HClO}) &= 0.005 / 0.4 = 0.0125 \text{ моль/л}, \\ c(\text{KClO}) &= 0.025 / 0.4 = 0.0625 \text{ моль/л}. \end{aligned}$$

Кислота частично диссоциирует



$$K_{\text{дисс.}} = [\text{H}^+][\text{ClO}^-] / [\text{HClO}] = [\text{H}^+]([\text{H}^+] + c(\text{KClO})) / (c(\text{HClO}) - [\text{H}^+])$$

Поскольку хлорноватистая кислота – очень слабая, можно упростить выражение для константы диссоциации:

$$K_{\text{дисс.}} = [\text{H}^+] \cdot c(\text{KClO}) / c(\text{HClO}) = [\text{H}^+] \cdot 0.0625 / 0.0125 = 5[\text{H}^+] = 2.95 \cdot 10^{-8}.$$

Отсюда получаем

$$\begin{aligned} [\text{H}^+] &= 5.9 \cdot 10^{-9}, \\ \text{pH} &= -\lg[\text{H}^+] = 8.23. \end{aligned}$$

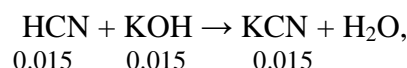
Ответ: 8.23.

Критерии оценивания: расчет количеств кислоты и щелочи до реакции – **2 балла**, расчет молярных концентраций веществ после реакции нейтрализации – **4 балла**, запись выражения для константы диссоциации – **2 балла**, нахождение концентрации H^+ – **4 балла**, расчет pH – **3 балла**.

Всего 15 баллов

4. Определите pH раствора, который образуется при смешении 250 мл 0.3 М раствора синильной кислоты и 150 мл 0.1 М раствора гидроксида калия. Константа диссоциации HCN равна $5 \cdot 10^{-10}$. Примите, что при смешении объемы растворов суммируются. (15 баллов)

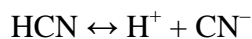
Решение. Рассчитаем количества синильной кислоты и щелочи. В 250 мл раствора кислоты содержится $0.25 \cdot 0.3 = 0.075$ моль HCN, в 150 мл щелочи содержится $0.15 \cdot 0.1 = 0.015$ моль КОН (щелочь – в недостатке). При смешении растворов происходит реакция нейтрализации:



и остается избыток кислоты в количестве $(0.075 - 0.015) = 0.06$ моль. В полученном растворе объемом $0.15 + 0.25 = 0.4$ л содержатся кислота и соль в концентрациях

$$\begin{aligned} c(\text{HCN}) &= 0.06 / 0.4 = 0.15 \text{ моль/л}, \\ c(\text{KCN}) &= 0.015 / 0.4 = 0.0375 \text{ моль/л}. \end{aligned}$$

Кислота частично диссоциирует



$$K_{\text{дисс.}} = [\text{H}^+][\text{CN}^-] / [\text{HCN}] = [\text{H}^+]([\text{H}^+] + c(\text{KCN})) / (c(\text{HCN}) - [\text{H}^+])$$

Поскольку синильная кислота – очень слабая, можно упростить выражение для константы диссоциации:

$$K_{\text{дисс.}} = [\text{H}^+] \cdot c(\text{KCN}) / c(\text{HCN}) = [\text{H}^+] \cdot 0.0375 / 0.15 = 0.25[\text{H}^+] = 5 \cdot 10^{-10}.$$

Отсюда получаем

$$\begin{aligned} [\text{H}^+] &= 2.0 \cdot 10^{-9}, \\ \text{pH} &= -\lg[\text{H}^+] = 8.70. \end{aligned}$$

Ответ: 8.70.

Критерии оценивания: расчет количеств кислоты и щелочи до реакции – **2 балла**, расчет молярных концентраций веществ после реакции нейтрализации – **4 балла**, запись выражения для константы диссоциации – **2 балла**, нахождение концентрации H^+ – **4 балла**, расчет pH – **3 балла**.

Всего 15 баллов

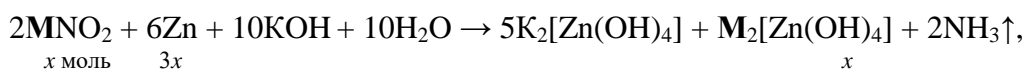
Задание 7

1. Смесь массой 50.4 г, состоящую из нитрита щелочного металла и цинковой пыли, нагрели с избытком концентрированного раствора гидроксида калия. Выделившийся при этом газ с плотностью по воздуху 0.2414 занял объем 7.212 л (20°C, 1 атм). Определите неизвестный металл. Рассчитайте плотность по криптону и объем газа (20°C, 1 атм), который выделится при обработке такого же количества смеси избытком подкисленного серной кислотой раствора иодида калия. (20 баллов)

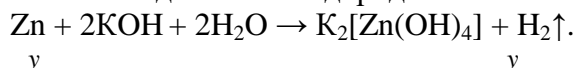
Решение. Нитрит щелочного металла **M** в присутствии цинка в горячей щелочи восстанавливается до аммиака, однако плотность аммиака по воздуху составляет

$$D = 17 / 29 = 0.5862,$$

что не совпадает с условием задачи. Плотность по воздуху выделившегося газа – меньше, поэтому можно предположить, что в смеси был избыток цинка, и он не только вступил в реакцию с нитритом:



но и прореагировал со щелочью с выделением водорода



Средняя молярная масса смеси газов равна

$$M = 0.2414 \cdot 29 = 7 \text{ г/моль}.$$

Пусть в 1 моль газовой смеси a моль аммиака и $(1 - a)$ моль водорода. Тогда

$$M = 17a + 2(1 - a) = 7, \\ a = 0.333.$$

$$v(\text{смеси газов}) = 101.325 \cdot 7.212 / (8.314 \cdot 293) = 0.3 \text{ моль},$$

тогда

$$v(\text{NH}_3) = x = 0.1 \text{ моль}, \\ v(\text{H}_2) = y = 0.2 \text{ моль}.$$

Значит, в исходной смеси содержалось цинка и нитрита металла **M**

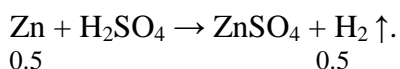
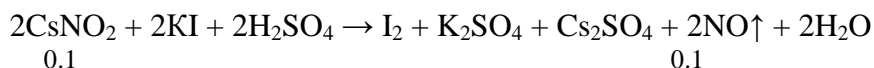
$$v(\text{Zn}) = (3x + y) = 0.5 \text{ моль}, \\ v(\text{MNO}_2) = 0.1 \text{ моль}.$$

По условию, масса исходной смеси

$$m(\text{смеси}) = 65 \cdot 0.5 + (M(\text{M}) + 46) \cdot 0.1 = 50.4,$$

отсюда $M(\text{M}) = 133$ г/моль. Неизвестный металл – это цезий.

При обработке смеси избытком подкисленного серной кислотой раствора иодида калия происходят следующие реакции:



В газовой смеси содержится оксид азота(II) и водород, средняя масса смеси и плотность по криптону равны

$$M_{\text{ср.}} = (30 \cdot 0.1 + 2 \cdot 0.5) / 0.6 = 6.67 \text{ г/моль}, \\ D_{\text{Kr}} = 6.67 / 84 = 0.079.$$

Объем газовой смеси равен

$$V = 8.314 \cdot 293 \cdot 0.6 / 101.325 = 14.425 \text{ л}.$$

Ответ: цезий, 0.079, 14.425 л.

Критерии оценивания: по 2 балла за каждое из четырех уравнений реакций (всего 8 баллов), расчет средней молярной массы первой смеси – 1 балл, нахождение количеств веществ в твердой смеси – 4 балла, определение металла через молярную массу – 3 балла. Расчет средней молярной массы и относительной плотности второй газовой смеси – 2 балла, расчет объема смеси – 2 балла.

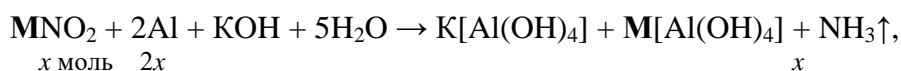
Всего 20 баллов.

2. Смесь массой 66.3 г, состоящую из нитрита щелочного металла и алюминиевой пыли, нагрели с избытком концентрированного раствора гидроксида калия. Выделившийся при этом газ с плотностью по воздуху 0.2414 занял объем 21.637 л (20°C, 1 атм). Определите неизвестный металл. Рассчитайте плотность по гелию и объем газа (20°C, 1 атм), который выделится при обработке такого же количества смеси избытком подкисленного серной кислотой раствора иодида натрия. (20 баллов)

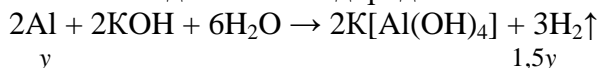
Решение. Нитрит щелочного металла **M** в присутствии алюминия в горячей щелочи восстанавливается до аммиака. Однако плотность аммиака по воздуху

$$D = 17 / 29 = 0.5862,$$

что не совпадает с условием задачи. Плотность по воздуху выделившегося газа меньше, поэтому можно предположить, что в смеси был избыток алюминия, и он не только вступил в реакцию с нитритом



но и прореагировал со щелочью с выделением водорода:



Средняя молярная масса смеси газов равна

$$M_{\text{ср}} = 0.2414 \cdot 29 = 7 \text{ г/моль.}$$

Пусть в 1 моль газовой смеси a моль аммиака и $(1-a)$ моль водорода. Тогда

$$17a + 2(1 - a) = 7,$$

$$a = 0.333.$$

$$v(\text{смеси газов}) = 101.325 \cdot 21.637 / (8.314 \cdot 293) = 0.9 \text{ моль,}$$

тогда $v(\text{NH}_3) = x = 0.3$ моль, $v(\text{H}_2) = 1.5y = 0.6$ моль, $y = 0.4$ моль.

Значит, в исходной смеси содержалось алюминия и нитрита металла **M**

$$v(\text{Al}) = 2x + y = 1.0 \text{ моль,}$$

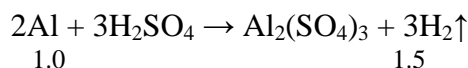
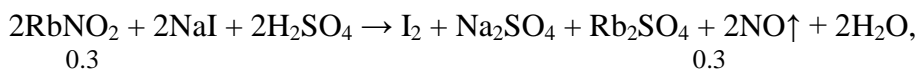
$$v(\text{MNO}_2) = 0.3 \text{ моль.}$$

По условию,

$$m(\text{смеси}) = 27 \cdot 1.0 + (M(\text{M}) + 46) \cdot 0.3 = 66.3,$$

отсюда $M(\text{M}) = 85$ г/моль. Неизвестный металл – это рубидий.

При обработке смеси избытком подкисленного серной кислотой раствора иодида натрия происходят следующие реакции:



В газовой смеси содержатся оксид азота(II) и водород, ее средняя масса и плотность по гелию равны

$$M_{\text{ср.}} = (30 \cdot 0.3 + 2 \cdot 1.5) / 1.8 = 6.67 \text{ г/моль,}$$

$$D_{\text{He}} = 6.67 / 4 = 1.67.$$

Объем газовой смеси составляет

$$V = 8.314 \cdot 293 \cdot 1.8 / 101.325 = 43.275 \text{ л.}$$

Ответ: рубидий, 1.67, 43.275 л.

Критерии оценивания: по 2 балла за каждое из четырех уравнений реакций (всего 8 баллов), расчет средней молярной массы первой смеси – 1 балл, нахождение количеств веществ в твердой смеси – 4 балла, определение металла через молярную массу – 3 балла. Расчет средней молярной массы и относительной плотности второй газовой смеси – 2 балла, расчет объема смеси – 2 балла.

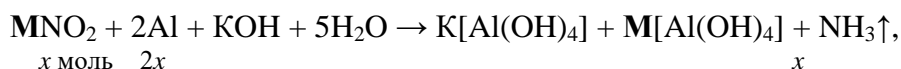
Всего 20 баллов.

3. Смесь массой 30.0 г, состоящую из нитрита щелочного металла и алюминиевой пыли, нагрели с избытком концентрированного раствора гидроксида калия. Выделившийся при этом газ с плотностью по воздуху 0.2759 занял объем 12.021 л (20°C, 1 атм). Определите неизвестный металл. Рассчитайте плотность по неону и объем газа (20°C, 1 атм), который выделится при обработке такого же количества смеси избытком подкисленного серной кислотой раствора иодида калия. (20 баллов)

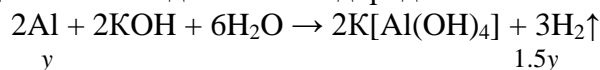
Решение. Нитрит щелочного металла **M** в присутствии алюминия в горячей щелочи восстанавливается до аммиака. Однако плотность аммиака по воздуху

$$D = 17 / 29 = 0.5862,$$

что не совпадает с условием задачи. Плотность по воздуху выделившегося газа меньше, поэтому можно предположить, что в смеси был избыток алюминия, и он не только вступил в реакцию с нитритом



но и прореагировал со щелочью с выделением водорода:



Средняя молярная масса смеси газов равна

$$M_{\text{ср}} = 0.2759 \cdot 29 = 8 \text{ г/моль.}$$

Пусть в 1 моль газовой смеси a моль аммиака и $(1-a)$ моль водорода. Тогда

$$\begin{aligned} 17a + 2(1-a) &= 8, \\ a &= 0.4. \end{aligned}$$

$$v(\text{смеси газов}) = 101.325 \cdot 12.021 / (8.314 \cdot 293) = 0.5 \text{ моль,}$$

тогда $v(\text{NH}_3) = x = 0.2$ моль, $v(\text{H}_2) = 1.5y = 0.3$ моль, $y = 0.2$ моль.

Значит, в исходной смеси содержалось алюминия и нитрита металла **M**

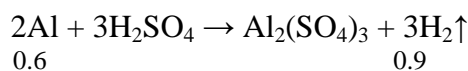
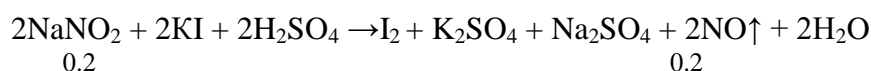
$$\begin{aligned} v(\text{Al}) &= 2x + y = 0.6 \text{ моль,} \\ v(\text{MNO}_2) &= 0.2 \text{ моль.} \end{aligned}$$

По условию,

$$m(\text{смеси}) = 27 \cdot 0.6 + (M(\text{M}) + 46) \cdot 0.2 = 30.0,$$

отсюда $M(\text{M}) = 23$ г/моль. Неизвестный металл – это натрий.

При обработке смеси избытком подкисленного серной кислотой раствора иодида калия происходят следующие реакции:



В газовой смеси содержатся оксид азота(II) и водород, ее средняя масса и плотность по неону

$$M_{\text{ср.}} = (30 \cdot 0.2 + 2 \cdot 0.9) / 1.1 = 7.091 \text{ г/моль,}$$

$$D_{\text{Ne}} = 7.091 / 20 = 0.355.$$

Объем газовой смеси составляет

$$V = 8.314 \cdot 293 \cdot 1.1 / 101.325 = 26.446 \text{ л.}$$

Ответ: натрий, 0.355, 26.446 л.

Критерии оценивания: по **2 балла** за каждое из четырех уравнений реакций (всего **8 баллов**), расчет средней молярной массы первой смеси – **1 балл**, нахождение количеств веществ в твердой смеси – **4 балла**, определение металла через молярную массу – **3 балла**. Расчет средней молярной массы и относительной плотности второй газовой смеси – **2 балла**, расчет объема смеси – **2 балла**.

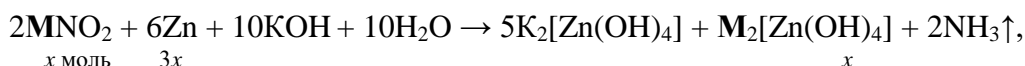
Всего 20 баллов.

4. Смесь массой 129.5 г, состоящую из нитрита щелочного металла и цинковой пыли, нагрели с избытком концентрированного раствора гидроксида калия. Выделившийся при этом газ с плотностью по воздуху 0.2241 занял объем 24.041 л (20°C, 1 атм). Определите неизвестный металл. Рассчитайте плотность по пропану и объем газа (20°C, 1 атм), который выделится при обработке такого же количества смеси избытком подкисленного серной кислотой раствора иодида калия. (20 баллов)

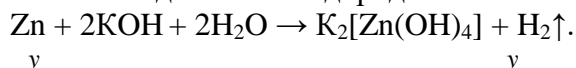
Решение. Нитрит щелочного металла **M** в присутствии цинка в горячей щелочи восстанавливается до аммиака, однако плотность аммиака по воздуху составляет

$$D = 17 / 29 = 0.5862,$$

что не совпадает с условием задачи. Плотность по воздуху выделившегося газа – меньше, поэтому можно предположить, что в смеси был избыток цинка, и он не только вступил в реакцию с нитритом:



но и прореагировал со щелочью с выделением водорода



Средняя молярная масса смеси газов равна

$$M_{\text{ср}} = 0.2241 \cdot 29 = 6.5 \text{ г/моль.}$$

Пусть в 1 моль газовой смеси a моль аммиака и $(1-a)$ моль водорода. Тогда

$$17a + 2(1-a) = 6.5,$$

$$a = 0.3.$$

$$v(\text{смеси газов}) = 101.325 \cdot 24.041 / (8.314 \cdot 293) = 1.0 \text{ моль,}$$

тогда

$$v(\text{NH}_3) = x = 0.3 \text{ моль,}$$

$$v(\text{H}_2) = y = 0.7 \text{ моль.}$$

Значит, в исходной смеси содержалось цинка и нитрита металла **M**

$$v(\text{Zn}) = (3x + y) = 1.6 \text{ моль,}$$

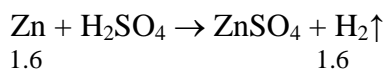
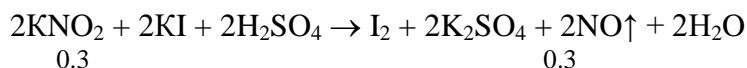
$$v(\text{MNO}_2) = 0.3 \text{ моль.}$$

По условию, масса исходной смеси

$$m = 65 \cdot 1/6 + (M(\text{M}) + 46) \cdot 0.3 = 129.5,$$

отсюда $M(\text{M}) = 39$ г/моль. Неизвестный металл – это калий.

При обработке смеси избытком подкисленного серной кислотой раствора иодида калия происходят следующие реакции:



В газовой смеси содержатся оксид азота(II) и водород, ее средняя молярная масса и плотность по пропану равны

$$M_{\text{ср.}} = (30 \cdot 0.3 + 2 \cdot 1.6) / 1.9 = 6.421 \text{ г/моль,}$$

$$D_{\text{пропан}} = 6.421 / 44 = 0.146.$$

Объем газовой смеси составляет

$$V = 8.314 \cdot 293 \cdot 1.9 / 101.325 = 45.679 \text{ л.}$$

Ответ: калий, 0.146, 45.679 л.

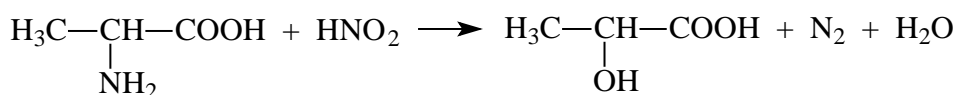
Критерии оценивания: по 2 балла за каждое из четырех уравнений реакций (всего 8 баллов), расчет средней молярной массы первой смеси – 1 балл, нахождение количеств веществ в твердой смеси – 4 балла, определение металла через молярную массу – 3 балла. Расчет средней молярной массы и относительной плотности второй газовой смеси – 2 балла, расчет объема смеси – 2 балла.

Всего 20 баллов.

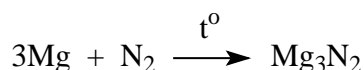
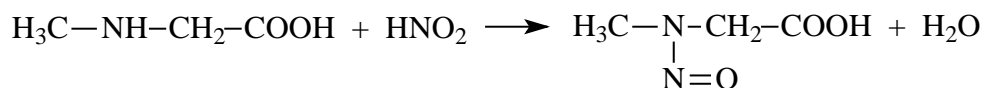
Задание 8

1. При действии избытка азотистой кислоты на смесь аминокислот формулы $\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}_2$ выделился газ, который при нагревании прореагировал с 28.8 г магния. При нагревании того же количества смеси ее масса уменьшилась на 8.8 г и выделился газ, который был использован для полного восстановления 24 г оксида меди(II). Установите строение и массы аминокислот и всех органических продуктов их превращений. Напишите уравнения описанных реакций. Сколько различных дипептидов может быть получено из этих аминокислот? (20 баллов)

Решение. Формуле $\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}_2$ отвечают три аминокислоты: 2-аминопропановая (α -аланин), 3-аминопропановая β -аланин) и N-метиламиноуксусная кислота (саркозин). Аминокислоты с первичной аминогруппой реагируют с азотистой кислотой с образованием гидроксикислот и выделением азота, который может реагировать с магнием.



Аминокислоты с вторичной аминогруппой под действием азотистой кислоты дают нитрозамины:



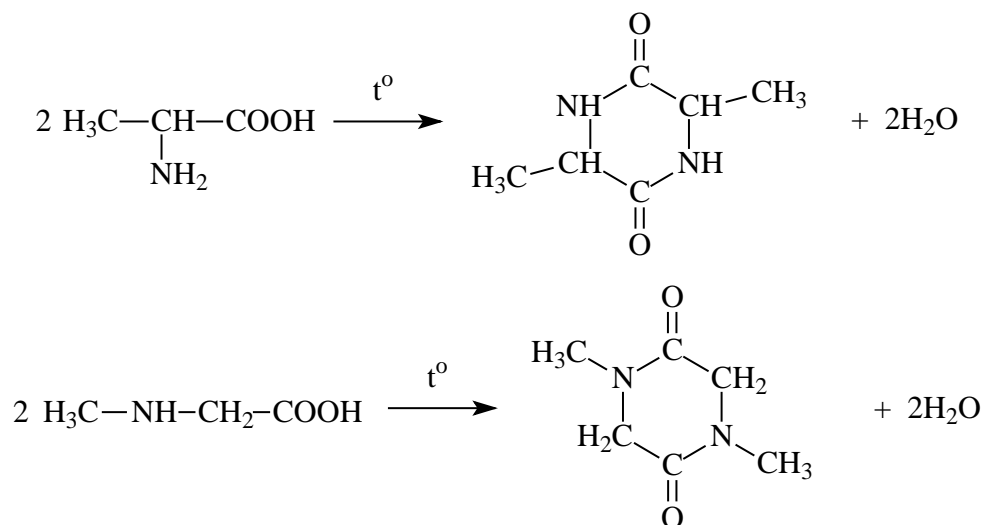
Найдя количество магния, определим количество азота:

$$v(\text{Mg}) = 28.8 / 24 = 1.2 \text{ моль,}$$

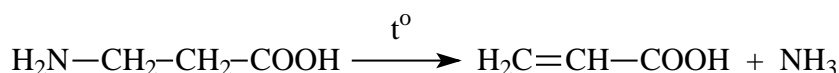
$$v(\text{N}_2) = 0.4 \text{ моль.}$$

Отсюда суммарное количество α -аланина и β -аланина составляет 0.4 моль.

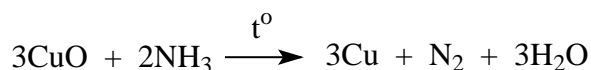
При нагревании α -аминокислот образуются дикетопиперазины:



Аминокислота β -аланин при нагревании отщепляет аммиак с образованием непредельной (акриловой) кислоты:



Выделившийся в этой реакции аммиак при нагревании восстанавливает оксид меди:



Найдя количество оксида меди, найдем количество аммиака и аминокислоты:

$$v(\text{CuO}) = 24 / 80 = 0.3 \text{ моль,}$$

$$v(\text{NH}_3) = 0.2 \text{ моль.}$$

Отсюда $v(\beta\text{-аланина}) = 0.2$ моль, тогда $v(\alpha\text{-аланина}) = 0.4 - 0.2 = 0.2$ моль.

При нагревании смеси масса уменьшилась на 8.8 г за счет выделения аммиака и воды.

Масса аммиака составляет

$$m(\text{NH}_3) = 17 \cdot 0.2 = 3.4 \text{ г.}$$

При дегидратации α -аланина выделилось 0.2 моль воды, ее масса составляет 3.6 г.

Проверим, насколько уменьшается масса смеси при нагревании:

$$\Delta m = 8.8 - 3.4 - 3.6 = 1.8 \text{ г.}$$

Это масса воды, выделившейся при дегидратации саркозина. Найдя количество воды, определим количество саркозина:

$$v(\text{саркозина}) = v(\text{H}_2\text{O}) = 1.8 / 18 = 0.1 \text{ моль,}$$

Зная количества всех трех аминокислот, найдем их массы и массы органических продуктов их превращений.

1) $v(\alpha\text{-аланина}) = 0.2$ моль,

$$m(\alpha\text{-аланина}) = 17.8 \text{ г.}$$

Масса продукта дегидратации (дикетопиперазина) 14.2 г.

Масса 2-гидроксипропановой кислоты 18.0 г.

2) $v(\beta\text{-аланина}) = 0.2$ моль,

$$m(\beta\text{-аланина}) = 17.8 \text{ г.}$$

Масса акриловой кислоты 14.4 г.

Масса 3-гидроксипропановой кислоты 18.0 г.

3) $v(\text{саркозина}) = 0.1$ моль,

$m(\text{саркозина}) = 8.9 \text{ г.}$

Масса продукта дегидратации (дикетопиперазина) 7.1 г.

Масса нитрозамина 11.8 г.

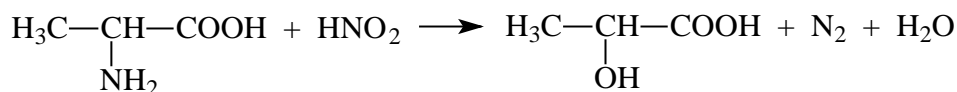
Обозначим α -аланин буквой А, β -аланин – В, саркозин – С. Возможны следующие комбинации дипептидов: АА, АВ, АС, ВА, ВВ, ВС, СА, СВ, СС. Итого возможно 9 дипептидов.

Критерии оценивания: 8 реакций по 1,5 балла – всего **12 баллов**. Массы трех аминокислот по 1 баллу – всего **3 балла**. Массы 6 органических продуктов по 0.5 балла – **3 балла**. Расчет числа дипептидов – **2 балла**.

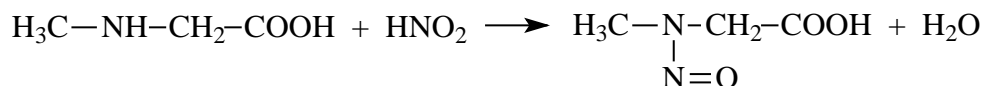
Всего 20 баллов.

2. При нагревании смеси аминокислот формулы $\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}_2$ ее масса уменьшилась на 5.3 г и выделился газ, который был поглощен 250 мл соляной кислоты с концентрацией 0.4 М. При действии избытка азотистой кислоты на то же количество исходной смеси был получен газ, прореагировавший с 10.5 г лития. Установите строение и массы аминокислот и всех органических продуктов их превращений. Напишите уравнения описанных реакций. Сколько различных дипептидов может быть получено из этих аминокислот? (20 баллов)

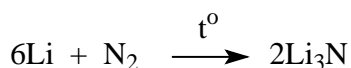
Решение. Формуле $\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}_2$ отвечают три аминокислоты: 2-аминопропановая (α -аланин), 3-аминопропановая (β -аланин) и N-метиламиноуксусная кислота (саркозин). Аминокислоты с первичной аминогруппой реагируют с азотистой кислотой с образованием гидроксикислот и выделением азота, который может реагировать с литием.



Аминокислоты с вторичной аминогруппой под действием азотистой кислоты дают нитрозамины:



Выделившийся азот реагирует с литием:

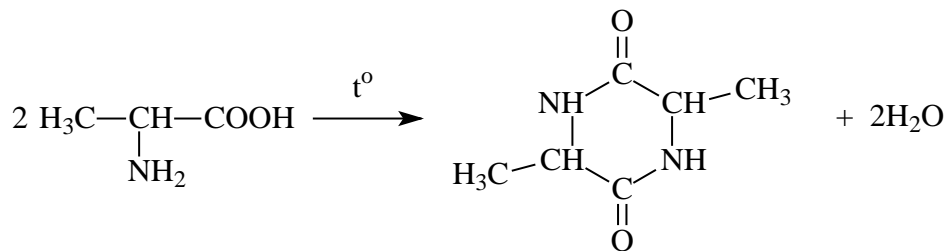


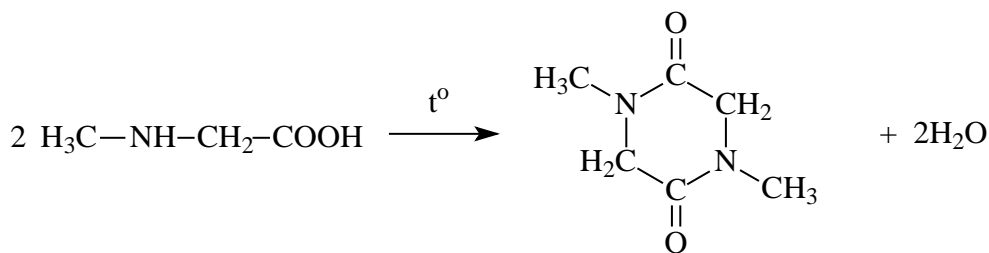
$$v(\text{Li}) = 10.5 / 7 = 1.5 \text{ моль,}$$

$$v(\text{N}_2) = 0.25 \text{ моль.}$$

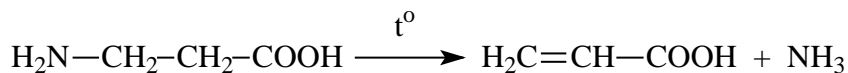
Отсюда суммарное количество α -аланина и β -аланина составляет 0.25 моль.

При нагревании α -аминокислот образуются дикетопиперазины:

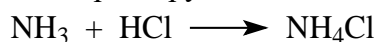




β -Аланин при нагревании отщепляет аммиак с образованием β -непредельной (акриловой) кислоты:



Выделившийся в реакции аммиак реагирует с соляной кислотой:



$$v(\text{HCl}) = 0.4 \cdot 0.25 = 0.1 \text{ моль,}$$

$$v(\text{NH}_3) = 0.1 \text{ моль.}$$

Отсюда $v(\beta\text{-аланина}) = 0.1$ моль, тогда $v(\alpha\text{-аланина}) = 0.25 - 0.1 = 0.15$ моль.

При нагревании смеси масса уменьшилась на 5.3 г за счет выделения аммиака и воды. Поскольку $v(\text{NH}_3) = 0.1$ моль, $m(\text{NH}_3) = 17 \cdot 0.1 = 1.7$ г. При дегидратации β -аланина выделилось 0.15 моль воды, ее масса 2.7 г. Проверим уменьшение массы смеси:

$$\Delta m = 5.3 - 1.7 - 2.7 = 0.9 \text{ г.}$$

Это масса воды, выделившейся при дегидратации саркозина:

$$v(\text{саркозина}) = v(\text{H}_2\text{O}) = 0.9 / 18 = 0.05 \text{ моль.}$$

Зная количества всех трех аминокислот, найдем их массы и массы органических продуктов их превращений.

$$1) v(\alpha\text{-аланина}) = 0.15 \text{ моль,}$$

$$m(\alpha\text{-аланина}) = 13.35 \text{ г.}$$

Масса продукта дегидратации α -аланина (дикетопиперазина) 10.65 г.

Масса 2-гидроксипропановой кислоты 13.5 г.

$$2) v(\beta\text{-аланина}) = 0.1 \text{ моль.}$$

$$m(\beta\text{-аланина}) = 8.9 \text{ г.}$$

Масса акриловой кислоты 7.2 г.

Масса 3-гидроксипропановой кислоты 9.0 г.

$$3) v(\text{саркозина}) = 0.05 \text{ моль,}$$

$$m(\text{саркозина}) = 4.45 \text{ г.}$$

Масса продукта дегидратации саркозина (дикетопиперазина) 3.55 г.

Масса нитрозамина 5.9 г.

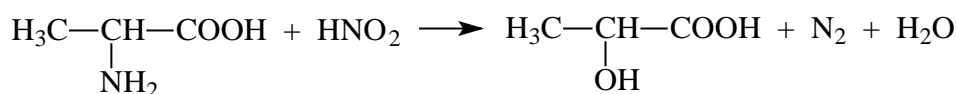
Обозначим α -аланин буквой А, β -аланин – В, саркозин – С. Возможны следующие комбинации дипептидов: АА, АВ, АС, ВА, ВВ, ВС, СА, СВ, СС. Итого 9 дипептидов.

Критерии оценивания: 8 реакций по 1,5 балла – всего **12 баллов**. Массы трех аминокислот по 1 баллу – всего **3 балла**. Массы 6 органических продуктов по 0.5 балла – **3 балла**. Расчет числа дипептидов – **2 балла**.

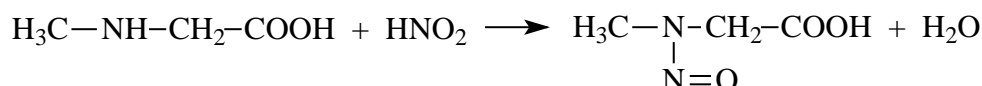
Всего 20 баллов.

3. При действии избытка азотистой кислоты на смесь, содержащую равные количества аминокислот формулы $\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}_2$, выделился газ, который прореагировал с 8.4 г лития. При нагревании того же количества исходной смеси ее масса уменьшилась на 5.3 г. Установите строение и массы аминокислот и всех органических продуктов их превращений. Какую массу оксида меди(II) может восстановить газ, выделившийся при нагревании смеси? Сколько различных дипептидов может быть получено из этих аминокислот? (20 баллов)

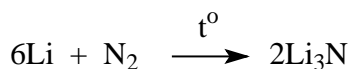
Решение. Формуле $C_3H_7NO_2$ отвечают три аминокислоты: 2-аминопропановая (α -аланин), 3-аминопропановая (β -аланин) и N-метиламиноуксусная кислота (саркозин). Аминокислоты с первичной аминогруппой реагируют с азотистой кислотой с образованием гидроксикислот и выделением азота, который может реагировать с литием.



Аминокислоты с вторичной аминогруппой под действием азотистой кислоты дают нитрозамины:



Выделившийся азот реагирует с литием:



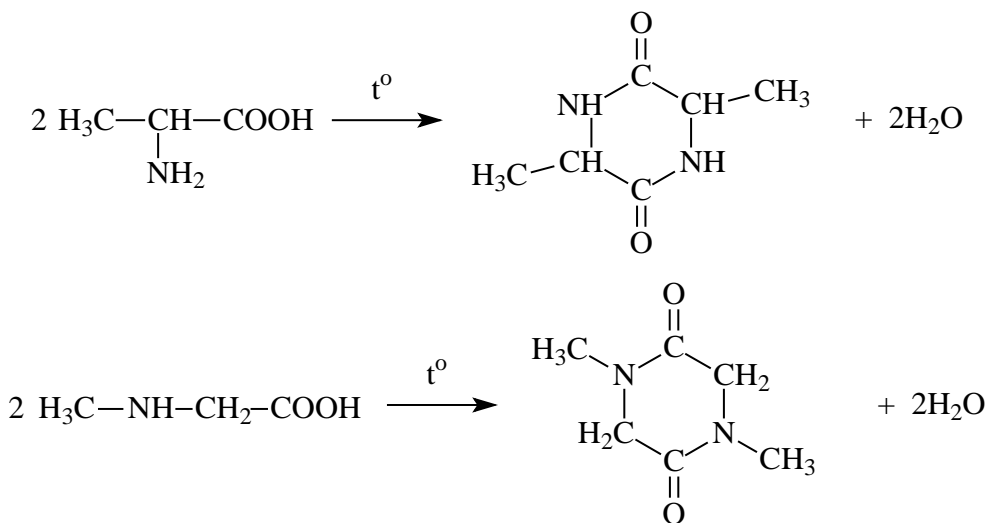
$$v(Li) = 8.4 / 7 = 1.2 \text{ моль,}$$

$$v(N_2) = 0.2 \text{ моль.}$$

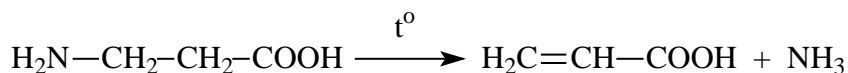
Отсюда суммарное количество α -аланина и β -аланина составляет 0.2 моль. По условию, количества аминокислот равны, значит

$$v(\alpha\text{-аланина}) = v(\beta\text{-аланина}) = v(\text{саркозина}) = 0.1 \text{ моль.}$$

При нагревании α -аминокислот образуются дикетопиперазины и выделяется вода:



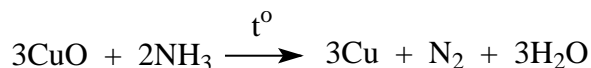
β -Аланин при нагревании отщепляет аммиак с образованием непредельной (акриловой) кислоты:



При нагревании смеси ее масса уменьшилась на 5.3 г за счет выделения аммиака и воды. Поскольку $v(NH_3) = 0.1$ моль, $m(NH_3) = 1.7$ г. При дегидратации α -аланина и саркозина выделилось по 0.1 моль воды, ее масса 3.6 г.

Тогда общая потеря массы $3.6 + 1.7 = 5.3$ г, что соответствует условию задачи.

Выделившийся аммиак восстанавливает оксид меди:



Поскольку $v(NH_3) = 0.1$ моль, количество и масса восстановленного оксида меди составляет:

$$\begin{aligned} \nu(\text{CuO}) &= 0.15 \text{ моль,} \\ m(\text{CuO}) &= 0.15 \cdot 80 = 12 \text{ г.} \end{aligned}$$

Зная количества всех трех аминокислот, найдем их массы и массы органических продуктов их превращений.

$$1) \nu(\alpha\text{-аланина}) = 0.1 \text{ моль,}$$

$$m(\alpha\text{-аланина}) = 8.9 \text{ г.}$$

Масса продукта дегидратации (дикетопиперазина) 7.1 г.

Масса 2-гидроксипропановой кислоты 9.0 г.

$$2) \nu(\beta\text{-аланина}) = 0.1 \text{ моль.}$$

$$m(\beta\text{-аланина}) = 8.9 \text{ г.}$$

Масса акриловой кислоты 7.2 г.

Масса 3-гидроксипропановой кислоты 9.0 г.

$$3) \nu(\text{саркозина}) = 0.1 \text{ моль,}$$

$$m(\text{саркозина}) = 8.9 \text{ г.}$$

Масса продукта дегидратации (дикетопиперазина) 7.1 г.

Масса нитрозамина 11.8 г.

Обозначим α -аланин буквой А β -аланин – В, саркозин – С. Возможны следующие комбинации дипептидов: АА, АВ, АС, ВА, ВВ, ВС, СА, СВ, СС. Итого 9 дипептидов.

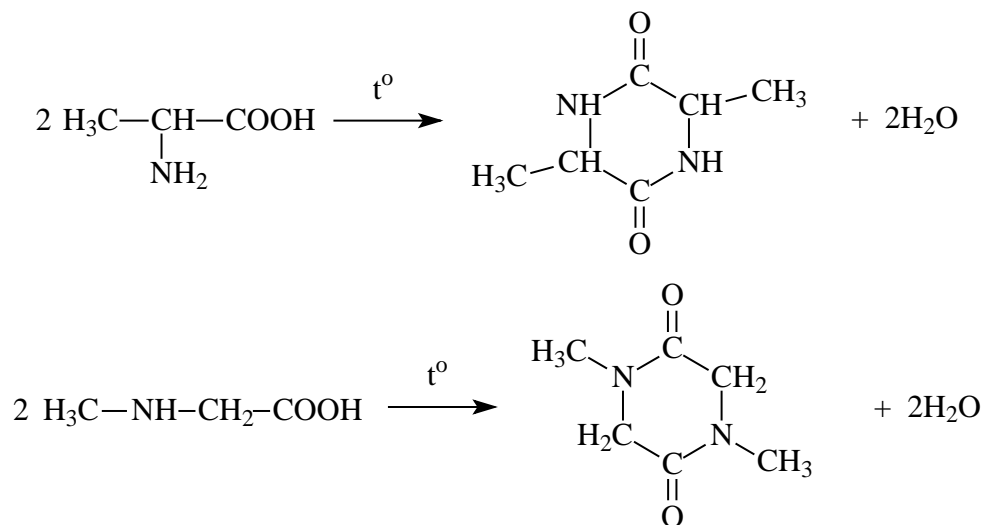
Критерии оценивания: 8 реакций по 1,5 балла – всего **12 баллов**. Массы трех аминокислот по 0.5 балла – всего **1.5 балла**. Масса оксида меди – **1.5 балла**. Массы 6 органических продуктов по 0.5 балла – **3 балла**. Расчет числа дипептидов – **2 балла**.

Всего 20 баллов.

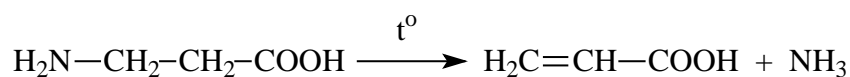
4. Масса смеси, содержащей равные количества аминокислот формулы $\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}_2$, при нагревании уменьшилась на 10.6 г, и выделился газ, который был использован для полного восстановления 16 г оксида железа(III). Установите строение аминокислот и всех органических продуктов их превращений. Какая масса лития может прореагировать с газом, образовавшимся при действии на исходную смесь аминокислот избытка азотистой кислоты? Сколько различных дипептидов может быть получено из этих аминокислот? (20 баллов)

Решение. Формуле $\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}_2$ отвечают три аминокислоты: 2-аминопропановая (α -аланин), 3-аминопропановая (β -аланин) и N-метиламиноуксусная кислота (саркозин).

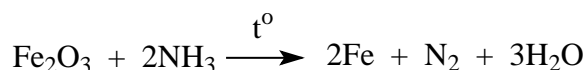
При нагревании α -аминокислот образуются дикетопиперазины:



β -Аланин при нагревании отщепляет аммиак с образованием -непредельной (акриловой) кислоты:



Выделившийся аммиак восстанавливает оксид железа.



Найдя количество оксида железа, определим количество аммиака и далее – количества аминокислот:

$$v(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 16 / 160 = 0.1 \text{ моль,}$$

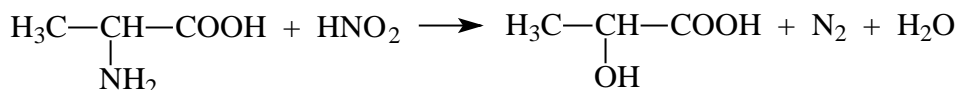
$$v(\text{NH}_3) = 0.2 \text{ моль.}$$

По условию задачи, количества аминокислот одинаковы:

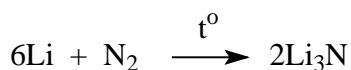
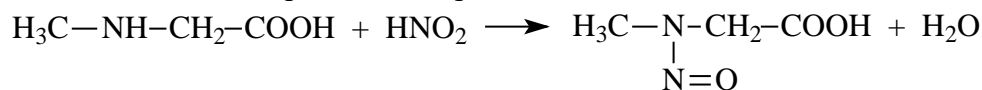
$$v(\beta\text{-аланина}) = v(\alpha\text{-аланина}) = v(\text{саркозина}) = 0.2 \text{ моль.}$$

При нагревании смеси масса уменьшилась на 10.6 г за счет выделения аммиака и воды. Поскольку $v(\text{NH}_3) = 0.2$ моль, $m(\text{NH}_3) = 3.4$ г. При дегидратации α -аланина и саркозина выделилось по 0.2 моль воды, ее масса 7.2 г. Тогда общая потеря массы $7.2 + 3.4 = 10.6$ г, что соответствует условию задачи.

Аминокислоты с первичной аминогруппой реагируют с азотистой кислотой с образованием гидроксикислот и выделением азота, который может реагировать с литием:



Аминокислоты с вторичной аминогруппой под действием азотистой кислоты дают нитрозамины, выделение газа при этом не происходит:



Суммарное количество α -аланина и β -аланина 0.4 моль. Отсюда

$$v(\text{N}_2) = 0.4 \text{ моль,}$$

$$v(\text{Li}) = 2.4 \text{ моль,}$$

$$m(\text{Li}) = 2.4 \cdot 7 = 16.8 \text{ г.}$$

Зная количества всех трех аминокислот, найдем их массы и массы органических продуктов их превращений.

$$1) v(\alpha\text{-аланина}) = 0.2 \text{ моль,}$$

$$m(\alpha\text{-аланина}) = 17.8 \text{ г.}$$

Масса продукта дегидратации α -аланина (дикетопиперазина) 14.2 г.

Масса 2-гидроксипропановой кислоты 18.0 г.

$$2) v(\beta\text{-аланина}) = 0.2 \text{ моль.}$$

$$m(\beta\text{-аланина}) = 17.8 \text{ г.}$$

Масса акриловой кислоты 14.2 г.

Масса 3-гидроксипропановой кислоты 18.0 г.

$$3) v(\text{саркозина}) = 0.2 \text{ моль,}$$

$$m(\text{саркозина}) = 17.8 \text{ г.}$$

Масса продукта дегидратации саркозина (дикетопиперазина) 14.2 г.

Масса нитрозамина 23.6 г.

Обозначим α -аланин буквой А β -аланин – В, саркозин – С. Возможны следующие комбинации дипептидов: АА, АВ, АС, ВА, ВВ, ВС, СА, СВ, СС. Итого 9 дипептидов.

Критерии оценивания: 8 реакций по 1,5 балла – всего **12 баллов**. Массы трех аминокислот по 0.5 балла – всего **1.5 балла**. Масса лития – **1.5 балла**. Массы 6 органических продуктов по 0.5 балла – **3 балла**. Расчет числа дипептидов – **2 балла**.
Всего 20 баллов.